

Aus der Pharmakologischen Anstalt der Universität Basel
(Vorsteher: Prof. Dr. med. K. Bucher)

Über die Rolle der Glottis beim Husten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

GEORG FLOERSHEIM

von Möriken - Wildegg (Aargau)

1959

Benno Schwabe & Co.
Basel



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546712_0026

Aus der Pharmakologischen Anstalt der Universität Basel
(Vorsteher: Prof. Dr. med. K. Bucher)

Über die Rolle der Glottis beim Husten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

GEORG FLOERSHEIM

von Möriken - Wildegg (Aargau)



1959
Benno Schwabe & Co.
Basel

Von der Medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag von Herrn
Prof. Dr. *K. Bucher*.

Tag der Promotion: 9. März 1959

Erschienen in «*Helvetica Physiologica et Pharmacologica Acta*»
Vol. 17 (1959), Fasc. 2, p. 153–165

Das Verhalten der Glottis soll für den Husten eine besondere Bedeutung haben. Dadurch, daß die Glottis zu Beginn der Expiration geschlossen wird, kann keine Luft ausströmen. Unter diesen Umständen müßte die Kontraktion der Expirationsmuskulatur zu einem besonders hohen intrathorakalen Druck führen. Durch eben diesen hohen Druck würde der Schluß der Glottis gesprengt. Damit kann die Luft explosionsartig entweichen.

Nach dieser Auffassung wäre in erster Linie die Schließung der Glottis für den Husten charakteristisch. Zur Öffnung käme es zwangsläufig-mechanisch. Demgegenüber sehen andere Autoren [1] das für den Husten charakteristische Verhalten der Glottis in ihrer Öffnung. Sie würde im richtigen Moment aktiv erfolgen und dadurch einen Hustenstoß von optimaler Stärke ermöglichen.

Im Hinblick auf diese noch offenen Fragen haben wir das Problem experimentell bearbeitet. Dabei interessierten uns vor allem drei Punkte: 1. Welcher Art sind die Glottisbewegungen beim Husten? 2. Was an ihnen ist aktiv und was passiv? 3. Hat die Glottis eine Bedeutung für die Stärke des Hustenstoßes?

Methode

Um Aussagen über das Verhalten der Glottis beim Husten machen zu können, war es notwendig, die zeitliche Korrelation von Glottisbewegung und Hustenphase zu kennen. Beide Vorgänge mußten aufgezeichnet werden. Die Glottisbewegungen wurden an Hand von durch die Glottis fallendem Licht photometrisch registriert. Zur Aufzeichnung des Hustens dienten der intrapleurale und der intratracheale Druck.

Wir wählten eine Anordnung, die es gestattete, die Versuchstiere alterierend durch und ohne die Glottis husten zu lassen. Dazu verwendeten wir eine Trachealkanüle mit eingebautem Dreiweghahn. Dessen Umdrehung ermöglichte, die Luft entweder durch Glottis, Rachen und Mund oder aber direkt durch die Kanüle nach außen zu leiten. Auf diese Weise konnte die Frage untersucht werden, ob die Glottisbewegungen aktiv oder passiv

zustande kämen. Ebenfalls ließ sich damit der Einfluß der Glottis auf die Hustenstärke ermitteln.

Als Versuchstiere dienten mit 40–50 mg/kg Dial i.p. narkotisierte Katzen von 2–3 kg Körpergewicht. Zur Einschränkung der Sekretion in den Atemwegen erhielten die Tiere 20 γ /kg Atropinsulfat s.c.

Die Trachea wurde vom Sternum bis zum Larynx freipräpariert und unter Schonung der Nn. recurrentes knapp oberhalb des Sternum durchtrennt. Cranial von der Durchtrennungsstelle exzidierten wir ein 1–1,5 cm langes Stück der Trachea. Stattdessen legten wir eine Spezialkanüle ein (siehe Abb. 1.).

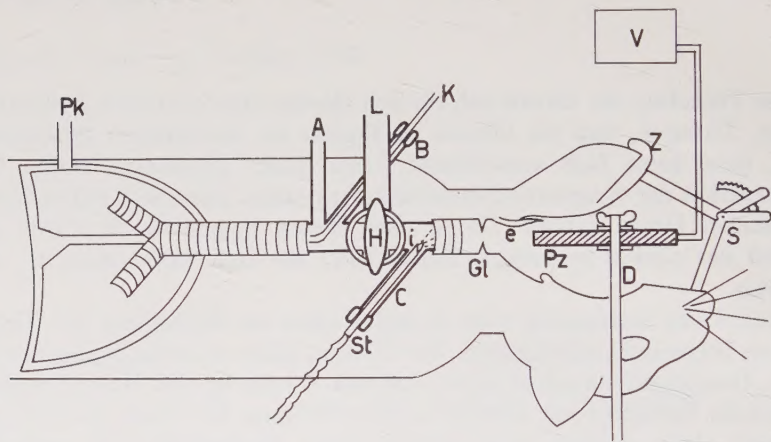


Abb. 1. Schematische Darstellung der Versuchsanordnung und der Trachealkanüle. Erläuterungen siehe Text.

Der in der Mitte der Kanüle befindliche Dreiweghahn H verengte ihr Lumen nicht. Es betrug 0,6 cm. Die Kanüle war 6 cm lang. Nahe am Hahn waren drei Äste angebracht. Durch die kurze Röhre L konnte die Luft durch eine Drehung des Hahns direkt nach außen geleitet werden. Der Seitenast A diente zur Messung des intratrachealen Drucks. Durch den Ast B wurde ein zur Hustenauslösung dienendes Reizpulver eingeblasen. Im Ast C steckte ein Stift St. Er konnte soweit vorgeschoben werden, daß die an seiner Spitze angebrachte kleine Birne i gerade in das Kanülenlumen hineinragte. Das Licht aus dieser Birne fiel durch die Glottis Gl auf die Photozelle Pz (RCA 1P42 Vakuum-Zelle). In Weiterentwicklung einer Methode, bei welcher angeblasene Stimmklappenpräparate untersucht wurden [2], registrierten wir die durch die Glottis fallende Lichtmenge photoelektrisch. Damit wollten wir den Vorgang einer Glottisbewegung als solcher sowie deren Richtung charakterisieren. Um wenig Licht durch Absorption im umliegenden Gewebe zu verlieren, erhielt die Trachealkanüle außen einen weißen Anstrich.

Der Aufbau der Versuchsanordnung ist aus Abb. 1 ersichtlich. Die Versuchstiere waren in Rückenlage auf einem Brett fixiert. Ein Sperrer S hielt ihren Mund offen. Durch ihn wurde die Photozelle geschoben. Ihr Durchmesser betrug 0,6 cm. Sie wurde bis knapp jenseits des Arcus pharyngopalatinus und des Velum palatinum gebracht. Auf diese Weise konnten sich deren Kontraktionen nicht störend auf den Lichtgang auswirken. Auch für den kurzen subglottischen Teil der Trachea konnte dies ausgeschlossen werden. Die Photozelle war an dem seitlich vom Kopf montierten

Halter D fixiert. Sie stand in Verbindung mit dem Verstärker V. Die Epiglottis e wurde durch eine Fadenschlinge locker an den Zungengrund gedrückt. Die Zunge Z war leicht herausgezogen und mittels eines um den Unterkiefer gelegten Fadens gehalten. Somit konnten nur Bewegungen der Glottis Änderungen der auf die Photozelle fallenden Lichtmenge bewirken.

Zur Einführung der Pleurakanüle Pk beatmeten wir das Tier künstlich. Der Thorax wurde im 4. oder 5. Intercostalraum rechts parasternal eröffnet und das Mediastinum durchstoßen. Wir beließen einen Pneumothorax von 5 ml. Der intrapleurale Druck wurde gleich wie der intratracheale über ein Membranmanometer auf Film aufgezeichnet. Beide Größen haben sich zur Charakterisierung des Hustens als geeignet erwiesen [3].

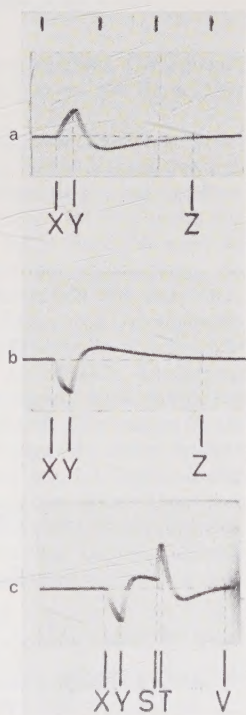
Die Hustenauslösung erfolgte nach der an unserem Institut üblichen Methode [4]. Durch den Seitenast B der Trachealkanüle wurde ein Katheter K gegen die Bifurcation tracheae vorgeschoben. Durch diesen wurde Seifenpulver eingeblasen in einer Menge, die eben zur Auslösung eines Hustenanfalls genügte.

Bei Bewegungen der Glottis veränderte sich die durchfallende Lichtmenge. Die dadurch in der Photozelle erzeugten Stromänderungen wurden mit einer Kathodenstrahlröhre auf den Film übertragen. Die Verstärkung erfolgte mit einem Wechselstromverstärker. Damit konnten nicht die effektiven Ströme – und also Lichtmengen – gemessen werden, sondern die Veränderungen der Lichtmenge pro Zeit. Dies machte Vorversuche zur Ermittlung der Bedeutung der photoelektrischen Kurvenbilder in unserer speziellen Anordnung notwendig (siehe Abb. 2). Die Zeit zwischen Anstieg bzw. Abfall von der Null-Linie bis zum höchsten bzw. tiefsten Punkt des Ausschlags (Distanz zwischen den Linien X und Y auf Abb. 2 a und 2 b) entspricht der Dauer der eingetretenen Lichtveränderung.

Dieser ersten Phase schließt sich eine zweite an. Sie beginnt in dem Moment, in dem der Vorgang der Änderung des Lichteinfalls abgeschlossen ist (Linie Y der Abb. 2). Jede Abweichung von der charakteristischen Nachschwankungsform muß als neue, in dieser Phase aufgetretene Lichtveränderung aufgefaßt werden. Kommt es z. B. im Anschluß an eine Lichtabnahme zu einer Lichtzunahme, so entsteht durch Überlagerung eine Kurve des aus Abb. 2 c ersichtlichen Typs.

Lichtzunahme auf der Photozelle kann nur durch Glottiserweiterung und Lichtabnahme nur durch Glottisverengung bewirkt werden. Dementsprechend lassen sich aus der photoelektrischen Kurve die Glottisbewegungen ablesen. Ihre Richtung und ihre Dauer sind genau ersichtlich (siehe Kurvenbeispiele Abb. 3 und 4).

Abb. 2. Modellversuche zur Interpretation der photoelektrischen Kurve. a) Von X bis Y: Lichtzunahme; von Y bis Z: keine Lichtänderung. b) Von X bis Y: Lichtabnahme; von Y bis Z: keine Lichtänderung. c) Von X bis Y: Lichtabnahme; von S bis T: Lichtzunahme; sonst keine Lichtänderungen. – Die Kurvenausschnitte Y bis Z (in a und b) bzw. Y bis S und T bis V (in c) zeigen Nachschwankungen des Registriersystems. Zeitmarken: 0,1 Sekunden.



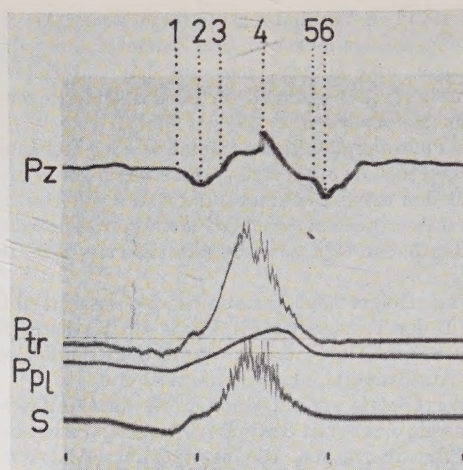


Abb. 3. Beispiel eines Hustenstoßes unter Umgehung der Glottis (Kurvenauschnitt). Registriert wurden von oben nach unten: Photoelektrische Kurve der Glottisbewegungen (P_z); intratrachealer Druck (P_{tr}); intrapleuraler Druck (P_{pl}); Signal zur Anzeige der Verlaufsform des Hustenstoßes (S); Zeitmarken: 0,2 Sekunden. Von 1 bis 2 findet eine Verengung, von 3 bis 4 eine (hier sakkadierte) Erweiterung und von 5 bis 6 wieder eine Verengung der Glottis statt. Tier Nr. 8.

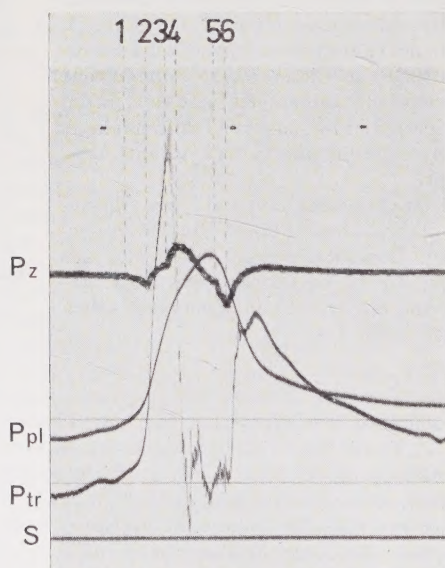


Abb. 4. Beispiel eines Hustenstoßes durch die Glottis (Kurvenauschnitt). Erläuterungen siehe Abb. 3. Tier Nr. 14.

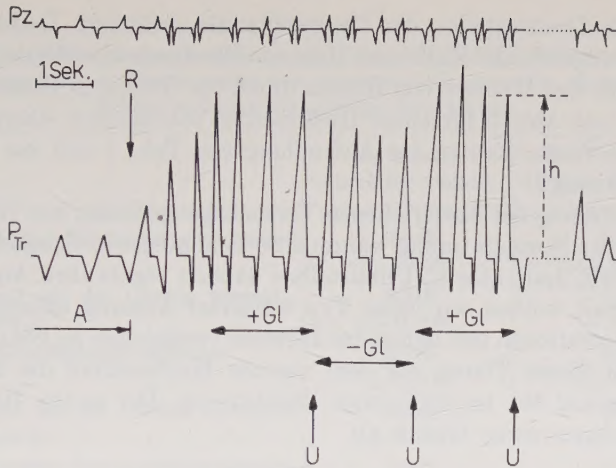


Abb. 5. Schema eines Hustenanfalls. Obere Kurve (Pz): Photoelektrische Kurve der Glottisbewegungen. Untere Kurve (P_{tr}): Trachealinnendruck. (Der intrapleurale Druck wurde nicht eingezeichnet.) – Während A atmete das Tier normal. Bei R wurde der Hustenreiz gesetzt. Vom 4. Hustenstoß an wurde der Anfall ausgewertet. Während +Gl erfolgten die Hustenstöße durch die Glottis, während –Gl unter ihrer Umgehung. Bei U wurde der Dreiweghahn jeweils umgestellt. h = maximal entwickelter intratrachealer Druck eines Hustenstoßes.

Bei der gewählten Umlaufgeschwindigkeit des Filmkymographions (13 cm/sec) konnten Oszillationen der Stimmlippen bis zu einer Frequenz von ca. 300 Hz gezählt werden.

Unsere Absicht war, die Glottisbewegungen den Hustenphasen zeitlich zuzuordnen. Erstere wurden photoelektrisch erfaßt, die letzteren durch Manometer mit Luftübertragung. Um die oben erwähnte Zuordnung vornehmen zu können, mußten beide Registriersysteme gegeneinander verzögerungsfrei arbeiten. Ist dies nicht der Fall, so kann durch ihre Einstellung bewirkt werden, daß beide dennoch zwei zu einem identischen Zeitpunkt stattfindende Vorgänge koinzident aufzeichnen. So konnte durch entsprechende Richtung des Spaltlampenlichtstrahls auf das Filmkymographion die durch die Luftleitung verursachte Verzögerung kompensiert werden. Wir haben dies in folgender Weise geprüft: Eine rotierende Scheibe aus festem Karton unterbrach einen Lichtstrahl und einen Luftstrahl. Auf einem Radius der kreisrunden Scheibe waren zwei Öffnungen ausgespart. Eine davon lag auf der Höhe des Lichtstrahls. Unter ihr befand sich die Photozelle. Der andere Spalt der Scheibe kam unter die Quelle des Luftstrahls zu liegen. Unterhalb dieses Spaltes war eine Mareysche Kapsel angebracht. Auf diese Weise fiel bei der Drehung der Scheibe um ihr Zentrum zum gleichen Zeitpunkt durch den einen Spalt Licht auf die Photozelle und durch den anderen Luft auf die Gummimembran. Beide dadurch bewirkten Ausschläge wurden photokymographisch registriert. Ihr Beginn gelangte auch auf dem Film gleichzeitig zur Aufzeichnung. Die Ausmeßgenauigkeit auf dem Film betrug $\pm 0,008$ Sekunden.

Der Versuchsgang war folgender: Min. 0–1: Normalatmung. Min. 5: Auslösung des ersten Hustenanfalls. Min. 21: Auslösung des zweiten Hustenanfalls. Während der Hustenanfälle wurde nach je 3–4 Hustenstößen die

Stellung des Dreiweghahns der Trachealkanüle verändert. Dadurch gingen pro Anfall ungefähr die Hälfte der Hustenstöße durch die Glottis, die andere Hälfte nicht. Der Wechsel von Husten durch die Glottis zu Husten ohne die Glottis ist auf Abb. 5 für einen Hustenanfall schematisch dargestellt. Die gefundenen Werte dienten zur Aufstellung von Tab. 1 und zur Zeichnung von Abb. 6 und 7.

In Erweiterung des beschriebenen Versuchsgangs ließen wir 10 Versuchstiere nach der Normalatmung während 30 Sekunden ein Gemisch von 10% CO₂ und 90% Luft atmen. Unmittelbar danach wurde ihre Atmung registriert. Damit wollten wir einen Typ forcierter Atmung untersuchen, um dessen Expirationen mit denen des Hustens vergleichen zu können. Ferner wurden bei diesen Tieren vor dem zweiten Hustenanfall die beiden Nn. recurrentes und Nn. laryngici cran. durchtrennt. Der zweite Hustenanfall lief so bei denervierter Glottis ab.

Ergebnisse

Das Verhalten der Glottis beim Husten kann aus den in Abb. 3 und 4 reproduzierten Kurvenbeispielen ersehen werden. Die Glottis, die während der dem Expirationsstoß vorangehenden initialen Inspiration erweitert ist, erfährt mit dem Beginn des Expirationsstoßes eine Verengung. Der Verengungsvorgang nimmt in den Beispielen die Zeit zwischen 1 und 2 ein. Anschließend bleibt die Glottis eine kurze Zeit verengt (von 2 bis 3). Noch während der intrathorakale Druck weiter ansteigt, erweitert sie sich wieder (Marken 3 bis 4). Die Erweiterung bleibt eine kurze Zeit bestehen (von 4 bis 5), und schließlich, noch vor dem Ende des Expirationsstoßes, erfolgt nochmals eine Verengung (von 5 bis 6). Die Glottis bleibt dann bis zum Beginn der nächsten initialen Inspiration verengt.

Dieser Bewegungsablauf der Glottis erwies sich als die Regel. Wir haben bei allen betrachteten Hustenstößen die Zeiten für die eben beschriebenen Phasen ausgemessen. Die daraus berechneten Mittelwerte finden sich in Tab. 1. Um das Verhalten der Glottis beim Expirationsstoß augenfälliger darstellen zu können, haben wir an Hand der in Tab. 1 enthaltenen Zahlen den Verlauf der Glottisbewegung graphisch dargestellt (Abb. 6). Die Abb. zeigt – schematisch – das Durchschnittsverhalten der Glottis beim Hustenstoß; gleichzeitig ist der zugehörige Druckverlauf im Pleuraraum und in der Trachea aufgetragen.

Nach Abb. 6 besteht der *charakteristische Bewegungsablauf der Glottis* im Expirationsstoß des Hustens darin, daß sie sich zunächst *verengt*, dann *erweitert* und schließlich wieder *verengt*. Die initiale Verengung besteht während etwa 0,02 Sekunden; die nachfolgende Phase der Erweiterung hält während etwa 0,08 Sekunden an.

Wir ließen unsere Versuchstiere sowohl *unter Umgehung der Glottis* als

Tabelle 1

Dauer der Glottisbewegungen beim Hustenstoß (Angaben in Sekunden). Die Zahlen sind Mittelwerte aus je ca. 80 Hustenstößen von insgesamt 15 Katzen. Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die mittlere Abweichung

	Bei Husten durch die Glottis	Bei Husten unter Umgehung d. Glottis
Dauer des ersten Verengerungsvorgangs (1 bis 2)	0,026 ($\pm 0,008$)	0,028 ($\pm 0,007$)
Zeit, während der die Glottis verengt bleibt (2 bis 3)	0,016 ($\pm 0,009$)	0,031 ($\pm 0,016$)
Dauer des Erweiterungsvorganges (3 bis 4)	0,025 ($\pm 0,009$)	0,022 ($\pm 0,008$)
Zeit, während der die Glottis erweitert bleibt (4 bis 5)	0,078 ($\pm 0,030$)	0,067 ($\pm 0,023$)
Dauer des zweiten Verengerungsvorgangs (5 bis 6)	0,031 ($\pm 0,011$)	0,030 ($\pm 0,012$)

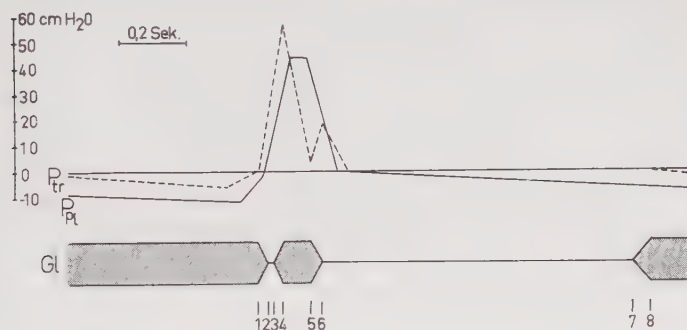


Abb. 6. Schematische Darstellung der Glottisbewegungen beim Husten durch die Glottis. Der Zeichnung liegen Werte aus Tabelle 1 zugrunde. P_{tr} = intratrachealer Druck; P_{pl} = intrapleuraler Druck; Gl = Glottisbewegungen in graphischer Darstellung. – Von 1 bis 2 erfolgt eine Verengung der Glottis, von 3 bis 4 eine Erweiterung und von 5 bis 6 wieder eine Verengung. In der expiratorischen Pause zwischen 6 und 7 (= 0,92 Sekunden) bleibt die Glottis verengt. Von 7 bis 8 (= 0,055 Sekunden) erweitert sie sich wieder. Sie bleibt es während der initialen Inspiration von 8 bis 1 (= 0,66 Sekunden). Bei 1 setzt mit der Glottisverengung der Zyklus wieder ein. Der für den eigentlichen Expirationsstoß charakteristische Anteil darin ist der Bewegungsablauf der Glottis von 1 bis 6. Gemessen am intratrachealen Druck dauert der Expirationsstoß so lange, als der Druck positiv ist. Die zur Konstruktion des intrapleuralen und intratrachealen Druckablaufs dienenden Mittelwerte wurden aus den gleichen Hustenstößen erhalten, die der Tabelle 1 zugrunde liegen. Die Mittelwerte der maximalen intrapleuralen und intratrachealen Drucke betragen 44,3 bzw. 56,5 cm H₂O. Man beachte, daß diese Maxima erreicht werden, nachdem sich die Glottis bereits wieder zu erweitern begonnen hat (0,05 bzw. 0,03 Sekunden nach Beginn der Glottiserweiterung).

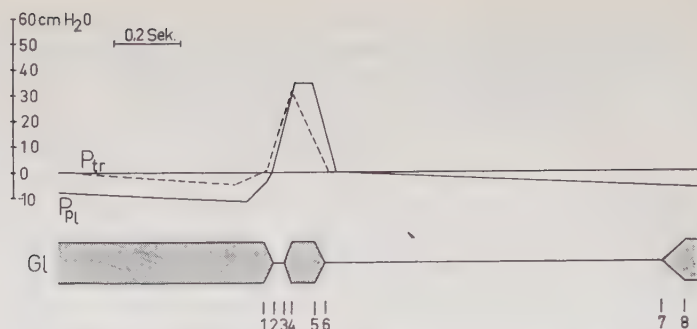


Abb. 7. Schematische Darstellung der Glottisbewegungen beim Husten unter Umgehung der Glottis. Der Zeichnung liegen Werte aus Tabelle 1 zugrunde. Legende siehe Abb. 6. – Die Mittelwerte aus den maximalen intrapleurale und intratrachealen Drucken betragen 34,3 bzw. 31,1 cm H₂O. Die Druckmaxima werden 0,035 bzw. 0,025 Sekunden nach Beginn der Glottiserweiterung erreicht.

auch durch diese husten. Dabei zeigte sich, daß bei beiden Hustenarten der Bewegungsablauf der Glottis praktisch derselbe ist. Daraus darf geschlossen werden, daß die für den Expirationsstoß charakteristischen Glottisbewegungen nicht mechanisch zustande kommen. Sie müssen aktiv erfolgen. Abb. 7 zeigt – schematisch – das Durchschnittsverhalten der Glottis, wenn die Hustenstöße nicht durch sie, sondern direkt aus der Trachea nach außen gehen.

Laufen diese beiden Hustenformen bei *denerviertem Larynx* ab, so zeigt sich folgendes: Geht der Luftstrom beim Hustenstoß direkt von der Trachea nach außen, so bleibt die Glottis bewegungslos. Entweicht die Luft hingegen durch die denervierte Glottis, so erweitert sich diese zu Beginn des Expirationsstoßes. Sie bleibt dann erweitert und oszilliert mit einer Frequenz von ca. 200–300 Hz. Nimmt am Ende eines solchen Expirationsstoßes der Luftstrom durch die Glottis ab, so verengt sie sich wieder. Diese Art von Glottisbewegungen beim Husten (durch den denervierten Larynx) kommt offenbar rein mechanisch durch den Luftstrom selbst zustande.

Wurde sowohl bei Husten durch die Glottis als auch bei Husten unter ihrer Umgehung die Hustenstärke betrachtet, so ließen sich Unterschiede feststellen. Bei Husten durch die Glottis betrug der maximal im Expirationsstoß entwickelte intrapleurale Druck 44,3 cm H₂O und der maximal entwickelte intratracheale Druck 56,5 cm H₂O. Bei den Hustenstößen, die unter Umgehung der Glottis erfolgten, waren die entsprechenden Werte 34,3 bzw. 31,1 cm H₂O. Ein Vergleich dieser Zahlen zeigt, daß der Mittelwert der Maxima des intrapleurale Drucks beim Husten unter Umgehung der Glottis um 22,5% tiefer liegt als bei Husten durch die Glottis. Der intratracheale Druck war bei Husten unter Umgehung der Glottis um 45% niedriger.

Das Verhalten der Glottis bei der Normalatmung läßt sich aus dem Kurvenbeispiel Abb. 8 ersehen. Die Glottis erweitert sich kurz bevor die Einatmung einsetzt (von 1 bis 2), und sie verengt sich wieder kurz vor dem Beginn der Ausatmung (von 3 bis 4). Diese Zeiten wurden bei allen betrachteten Atemzügen ausgemessen. Unter Benützung der daraus errechneten Mittelwerte haben wir – wieder der besseren Übersicht halber – eine schematische Darstellung der Glottisbewegungen bei der Normalatmung gezeichnet (Abb. 9).

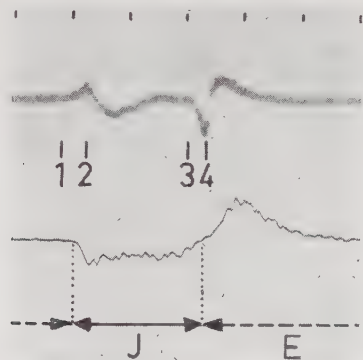


Abb. 8. Beispiel eines normalen Atemzuges. Oben: photoelektrische Kurve der Glottisbewegungen. Unten: intratrachealer Druck. J = Inspiration; E = Expiration. Von 1 bis 2 erweitert sich die Glottis, von 3 bis 4 verengt sie sich. Zeitmarken: 0,2 Sekunden.

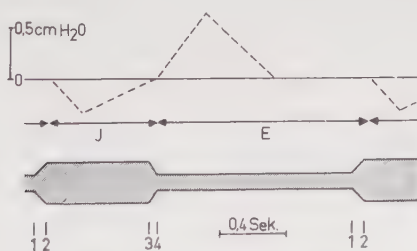


Abb. 9. Schematische Darstellung der Glottisbewegungen bei der normalen Atmung. Die Zeichnung wurde unter Benützung der Mittelwerte aus 55 Atemzügen durch die Glottis von 8 Katzen konstruiert. Bei Atemzügen unter Umgehung der Glottis war das Glottisverhalten praktisch dasselbe. – Oben: intratrachealer Druck. Unten: graphische Darstellung des Glottisverhaltens. J Einatmung, E Ausatmung. 1 bis 2 = Dauer des Erweiterungsvorgangs (= 0,07 Sekunden); 2 bis 3 = Zeit, während der die Glottis erweitert bleibt (= 0,6 Sekunden); 3 bis 4 = Dauer des Verengerungsvorgangs (= 0,04 Sekunden); 4 bis 1 = Zeit, während der die Glottis verengt bleibt (= 1,16 Sekunden). Die Erweiterung der Glottis beginnt 0,09 Sekunden vor Beginn der Einatmung, die Verengung 0,05 Sekunden vor Beginn der Ausatmung.

Diskussion

Wenn bei unseren Versuchen die Expirationsstöße direkt aus der Trachea nach außen erfolgten, zeigte die Glottis folgende Bewegungen: Verengung-Erweiterung-Verengung. Derselbe Bewegungsablauf trat auch auf, wenn durch die Glottis gehustet wurde. Er ist für den Husten charakteristisch. Bewegt sich die Glottis aber in der gleichen Weise unabhängig davon, ob Luft durch sie geht oder nicht, so können ihre Bewegungen nicht als mechanischer, durch den Luftstrom bewirkter Ventileffekt [5] aufgefaßt werden. Sie müssen im wesentlichen *aktiv* sein.

Nun interessiert uns zunächst die Frage, durch welchen Impuls diese Bewegungen zustande kommen. Dies müßte durch weitere Untersuchungen abgeklärt werden. Immerhin dürften in erster Linie zwei Ursachen für die aktiven Glottisbewegungen in Frage kommen. Einmal könnte der Bewegungsablauf zentral angelegt sein. Er würde durch jeden zu einem Hustenstoß führenden Reiz mit ausgelöst. Die andere Möglichkeit wäre die, daß die Glottisbewegungen erst sekundär mit dem Hustenstoß verknüpft wären. Sie kämen dann indirekt über einen Reflex von der Peripherie her zustande. Als reflexogene Mechanismen kämen in Frage: die Spannung und die Stellung der Thoraxwand; der Dehnungszustand von Lunge und Luftwegen; der Luftstrom in der Trachea u. a. m.

Für die primär zentrale Auslösung der Bewegungen spricht, daß beim Husten – und auch bei der Normalatmung – die Glottisverengung beginnt, bevor der Expirationsstoß bzw. die Ausatmung eingesetzt hat (Abb. 3, 8, 9). Für die Normalatmung ist überdies gezeigt worden, daß Impulse an den Larynx vor solchen an die Atmungsmuskulatur ausgegeben werden [6]. Die zur Erweiterung der Glottis führenden Impulse im *N. recurrens* setzten jeweils 0,1–0,2 Sekunden vor den inspiratorischen Impulsen im *N. phrenicus* ein.

Andererseits liegen Befunde vor, die es als möglich erscheinen lassen, daß durch den Hustenakt selbst Reflexe in Gang gesetzt werden, die ihrerseits aktive Glottisbewegungen veranlassen. So ist beschrieben, daß eine Blähung der Lunge die Aktivität im *N. recurrens* hemmt, wenn von Fasern abgeleitet wird, die eine Abduktion der Stimmbänder bewirken. Die Aktivität in den eine Adduktion bewirkenden Fasern wird durch Lungenblähung verstärkt [6]. Auch löst ein gegen die Glottis gerichteter Luftstrom eine Aktivität im *N. laryngeus cran. aus* [7]. Afferenzen aus diesem Nerv können bekanntlich eine Verengung der Glottis bewirken. Thoraxdruck führt ebenfalls zu einer Verengung der Glottis [8].

Bei unseren Versuchen machten wir eine Beobachtung, die dahin interpretiert werden kann, daß die Erweiterung und die zweite Verengung der Glottis beim Expirationsstoß im Husten reflektorisch ausgelöst werden. In den von uns untersuchten Hustenanfällen kam es zu Expirationsstößen verschiedener Stärke. Bei schwachen Expirationsstößen (Trachealinnendruck unter ca. 8 cm H₂O) trat nach der

initialen Verengung der Glottis die für den Husten charakteristische Erweiterung nicht auf. Sie blieb auch bei der CO_2 -Atmung aus, trotzdem dabei der Expirationsdruck in der Trachea deutlich über die normalen Werte anstieg.

Bei den etwas stärkeren Expirationsstößen aus den Hustenanfällen (Trachealinnendruck ca. 15 cm H_2O) erfolgte zwar die Glottiserweiterung, nicht aber die zweite Verengung. Erst bei den Expirationsstößen mit einem Trachealinnendruck von über ca. 20 cm H_2O und einem intrapleuralem Druck von mehr als ca. 14 cm H_2O kam es zum Bewegungsablauf Verengung-Erweiterung-Verengung.

Schwache wie starke Expirationsstöße liefen im Hustenanfall ab und dürfen deshalb als Hustenstöße aufgefaßt werden. Erfolgt nun bei solch schwachen Hustenstößen der charakteristische Bewegungsablauf der Glottis nicht, so ist er offenbar nicht primär durch den Hustenreiz selbst ausgelöst. Die Beziehung zwischen der Stärke der Expirationsstöße und den Glottisbewegungen läßt vielmehr vermuten, daß sekundäre, beim Ablauf des Hustenaktes zustandekommende Reflexe die Erweiterung und die zweite Verengung der Glottis verursachen. Die initiale Verengung hingegen dürfte – wenigstens qualitativ – vom Zentrum aus bewirkt sein.

Das Eng-weit-eng der Glottis ist wahrscheinlich die Ursache des typischen Doppelgeräusches, das normalerweise beim Hustenstoß zu hören ist. Erfolgt nach der ersten Verengung nur die Erweiterung, so käme das einfache Hustengeräusch – ohne abrupt sistierendes Echo – zustande. Die alleinige Verengung der Glottis bewirkt das bei forcierter Atmung hörbare Strömungsgeräusch.

Nicht nur die Glottisbewegungen, sondern auch die Druckverläufe in Trachea und Pleura zeigen eine überraschende Unabhängigkeit davon, ob der Expirationsstoß durch die Glottis geht oder nicht (Abb. 6 und 7). Bei beiden Hustenarten fällt beim Expirationsstoß die Glottisverengung in die Phase des steilen Anstiegs von intratrachealem und intrapleuralem Druck. Die Verengung erfolgt regelmäßig. Sie dürfte mit dem Expirationsstoß direkt koordiniert sein. Durch die dann folgende Erweiterung hingegen unterscheidet sich der Expirationsstoß des Hustens grundsätzlich von dem üblichen Verhalten der Glottis während der Expiration. Während der normalen Expiration wird die Glottis bekanntlich verengert. Beim Husten aber steigt der Druck in der Trachea und der Pleura auch dann noch weiter an, wenn sich die Glottis bereits wieder erweitert. Eine Beziehung zwischen dem Druck und der Glottisstellung wird erst deutlich, wenn wir den intratrachealen Druck von dem Moment an betrachten, da er sein Maximum erreicht hat. Jetzt zeigt er – und dies nur bei Expirationsstößen durch die Glottis – eine Abhängigkeit von dem durch die Glottis bewirkten Widerstand (Abb. 4 und 6). Ist die Glottis ganz erweitert, so fällt der intratracheale Druck ab, und zwar so lange, als die Erweiterung der Glottis anhält. Im Augenblick, da die zweite Glottisverengung wieder einsetzt, steigt auch der intratracheale Druck wieder an. Dieser geringere zweite Anstieg erreicht mit dem Ende des zweiten Verengungsvorgangs seinen Höhepunkt.

Die Betrachtung der Hustenstärke zeigt, daß es auch dann zu dem den Husten kennzeichnenden intrathorakalen Druckanstieg kommt, wenn die Glottisverengung gar nicht auf den Luftstrom wirken kann (Abb. 3 und 7). Das Vorhandensein der Glottis ist also für die Druckbildung beim Expira-

tionsstoß nicht notwendig. Der Druckanstieg ist vielmehr als eine Folge der plötzlichen Kontraktion der Expirationsmuskulatur anzusehen, der durch die Glottis lediglich modifiziert wird. Die Ausschaltung der Glottis führt nur dazu, daß die maximalen intrapleuralen Drucke im Husten um ca. 20% niedriger werden. Die Ursache für diese Druckdifferenz könnte in propriozeptiven Widerstandsreflexen [9] oder in mechanischen Momenten zu suchen sein.

Zusammenfassung

Wir untersuchten an Katzen, wie sich die Glottis beim Husten verhält, ob ihre Bewegungen aktiv oder passiv erfolgen und welches ihre Bedeutung für die Hustenstärke ist.

Die Glottisbewegungen wurden photoelektrisch registriert und konnten den gleichzeitig aufgezeichneten Hustenphasen zugeordnet werden. Die Hustenstöße leiteten wir entweder durch die Glottis oder von der Trachea direkt nach außen.

Der charakteristische Bewegungsablauf der Glottis beim Expirationsstoß des Hustens besteht darin, daß sie sich verengt, dann erweitert und dann wieder verengt. Der Ablauf ist bei Husten durch die Glottis und bei Husten unter ihrer Umgehung praktisch derselbe. Die Bewegungen können daher nicht mechanisch zustande kommen. Das Besondere am Expirationsstoß des Hustens besteht darin, daß die normalerweise bei einer Expiration verengte Glottis sich für eine kurze Zeit aktiv erweitert.

Wenn die Hustenstöße direkt aus der Trachea nach außen erfolgen, so sind die maximalen intrapleuralen Drucke um ca. 20% niedriger, als wenn durch die Glottis gehustet wird. Die Bedeutung der Glottis für die Druckbildung im Expirationsstoß ist also relativ gering.

Summary

Studies were made on cats to determine how the glottis behaves during cough, whether its movements during the cough act are active or passive and what influence these movements exert on the intensity of the cough.

The movements of the glottis were recorded photoelectrically and thus could be correlated with the simultaneously recorded cough phases. The expulsive thrusts of the coughs were conducted through the glottis (i. e. the usual way) or from the trachea directly outwards.

The progression of the movements of the glottis during the expiratory thrust of the cough act were characterized by constriction, then dilatation and then again constriction. The process is the same whether expulsion is conducted through the glottis or from the trachea directly outwards. Therefore the movements cannot occur mechanically. Remarkable in the expiratory thrust of a cough is the fact that the glottis, normally constricted during expiration, is actively dilated for a short time.

The maximum intrapleural pressure is about 20% lower when the expulsive thrusts of the coughs are conducted from the trachea directly outwards than when conducted through the glottis. Thus the glottis has relatively little significance as concerns the building-up of pressure during the expiratory thrust.

Die Arbeit wurde auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. K. Bucher ausgeführt.

1. *Bucher K.*: Pathophysiology and pharmacology of cough. *Pharmacol. Rev.* **10**, 43–58 (1958).
2. *Hartmann W.* und *Wullstein H.*: Untersuchungen über den Bewegungsvorgang an den schwingenden Stimmlippen von Kehlkopfpräparaten mit verbesserter Photozellenmethode. *Arch. Ohr., Nas., u. Kehlk.-Heilk.* **144**, 348–360 (1938).
3. *Gutekunst J. A.*: Zur Charakterisierung der Hustenstärke durch den Pleuradruck. *Helv. Physiol. Acta* **13**, 295–299 (1955).
4. *Kroepfli P.*: Über das Verhalten einiger Atmungsgrößen beim Husten. *Helv. Physiol. Acta* **8**, 33–43 (1950).
5. *Pressman J. J.* and *Kelemen G.*: Physiology of the larynx. *Physiol. Rev.* **35**, 506–554 (1955).
6. *Green J. H.* and *Neil E.*: The respiratory function of the laryngeal muscles. *J. Physiol. (London)* **129**, 134–141 (1955).
7. *Aldaya F.*: Le contrôle réflexe de la respiration par la sensibilité du larynx. *C.R. Soc. Biol. (Paris)* **123**, 1001–1002 (1936).
8. *du Bois-Reymond R.* und *Katzenstein J.*: Über die Wirkung der Atemreize auf den Kehlkopf. *Arch. Laryng. Rhin. (Berl.)* **14**, 107–134 (1903).
9. *Fleisch A.*: Neuere Ergebnisse über Mechanik und propriozeptive Steuerung der Atmungsbewegung. *Ergebn. Physiol.* **36**, 249–299 (1934).

